

INFLUENCIA DE LAS MANOPROTEÍNAS EN LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VINOS

INFLUENCE OF MANNOPROTEINS ON THE ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF WINE

Mario Sergio Pino-Hurtado* (0000-0002-7475-7765)

^a Universidad de La Rioja, Logroño, La Rioja, España.

*mapinohurtado@gmail.com

Recibido: 17 de enero de 2023;

Aceptado: 04 de abril de 2023;

RESUMEN

Los polisacáridos presentes en el vino son macromoléculas denominadas “coloides protectores” que se originan tanto en las paredes celulares de la uva como en los propios microorganismos durante las etapas de fermentación y crianza; estos inhiben o limitan la agregación, floculación y precipitación de las sustancias coloidales que atentan contra la calidad final de esta bebida. La cristalización de las sales de tartrato es un fenómeno que se desea evitar en la industria enológica, esta precipitación espontánea es muy lenta e impredecible y se caracteriza por un depósito de cristales en el fondo de las botellas. Las características estructurales de estos polisacáridos y en especial las manoproteínas desempeñan un papel clave para evitar esta problemática, principalmente por su capacidad para estabilizar los compuestos fenólicos, las proteínas y las propiedades organolépticas del vino. Actualmente el empleo de diferentes formulaciones de manoproteínas de levadura como ingrediente funcional natural en la industria enológica ha acarreado gran interés por parte de los investigadores y los métodos fundamentales para su extracción son: empleando enzimas que destruyen las paredes celulares de la levadura o por medio de extracciones físicas. Aunque existen hasta la fecha varios trabajos que estudian la influencia de las características estructurales de las manoproteínas en la calidad final del vino, aún se necesita un mayor número de investigaciones sobre el tema. La presente revisión se centra en destacar los últimos avances sobre la influencia de estos preparados obtenidos por métodos no convencionales con el fin de relacionar sus características estructurales y mecanismos subyacentes con el impacto que tienen en las propiedades organolépticas de los diferentes tipos de vino.

Palabras clave: Manoproteínas, polisacáridos del vino, calidad del vino, propiedades organolépticas.

ABSTRACT

The polysaccharides in wine are macromolecules called "protective colloids" that originate both in the cell walls of the grape and in the microorganisms themselves during the fermentation and aging stages; these molecules inhibit or limit the aggregation, flocculation and precipitation of colloidal substances that threaten the final quality of this beverage. The crystallization of tartrate salts is a phenomenon undesired in the oenological industry, this spontaneous precipitation is too slow and unpredictable, and it is characterized by a deposit of crystals at the bottom of the bottles. The structural characteristics of these polysaccharides, and specially mannoproteins, are very important to avoid this problem, mainly due to their ability to stabilize both phenolic compounds, proteins, and the organoleptic properties of wine. The use of different formulations of yeast mannoproteins as a natural functional ingredient in the oenological industry has currently led to great interest on the part of researchers and the fundamental methods for its extraction are using enzymes that destroy the cell walls of the yeast or through physical extractions. Although there are several studies to date that study the influence of the structural characteristics of mannoproteins on the final quality of wine, more research is still needed on the subject. This review focuses on highlighting the latest advances on the influence of these preparations obtained by unconventional methods to relate their structural characteristics and underlying mechanisms with the impact they have on the organoleptic properties of different types of wine.

Keywords: Mannoproteins, wine polysaccharides, wine quality, organoleptic properties.

INTRODUCCIÓN

Los polisacáridos presentes en el vino son macromoléculas que se originan tanto en las paredes celulares (PC) de la uva como en los propios microorganismos que actúan durante el proceso de vinificación (Canalejo et al., 2021). Son denominados como “coloides protectores” (Apolinar-Valiente et al., 2014), pues estos logran la estabilización del vino al inhibir o limitar de cierta manera la agregación, floculación y precipitación de las SC (Chong et al., 2019; Zhai et al., 2023). Los que se encuentran en mayor proporción son los ramnoglacturonanos tipo II y las proteínas arabinogalactanas (polisacáridos ricos en arabinosa y galactosa), que se forman en las paredes celulares pectocelulósicas de las uvas y en segundo lugar se encuentran las manoproteínas (MP) que se liberan por la levadura durante la fermentación y la crianza de los vinos (Canalejo et al., 2021).

Un fenómeno que se desea evitar en la industria enológica es el de la cristalización espontánea de las sales de tartrato, esta precipitación es muy lenta e impredecible por lo que si ocurre después del embotellado se observará un depósito de cristales en el fondo de las botellas, lo que resulta en un rechazo por parte de los consumidores. Esto ocurre ya que luego de concluida la fermentación alcohólica los vinos presentan grandes cantidades de potasio y ácido tartárico, provocando una cristalización del hidrogenotartrato de potasio (Lankhorst et al., 2017). Esta problemática se soluciona mediante la adición de formulaciones ricas en MP al vino, ya que estos compuestos son capaces de interactuar con los taninos y antocianos, reduciendo su reactividad y aumentando la estabilidad del color en estas bebidas (Apolinar-Valiente et al., 2014).

Las PC de las levaduras son capaces de adsorber los polifenoles presentes en el vino tinto debido en gran medida a interacciones fisicoquímicas con las MP presentes, lo que influye positivamente en su calidad. Por esto la mayoría de los investigadores centran su atención en el aislamiento, estudio y caracterización de estos polisacáridos para comprender así el papel que juegan sus características estructurales en las interacciones con los compuestos presentes en el vino (Mekoue Nguela et al., 2023; Wan et al., 2021).

Actualmente el empleo de diferentes formulaciones de MP de levadura como ingrediente funcional natural en la industria alimentaria y fundamentalmente en la industria enológica ha acarreado gran interés por parte de los investigadores (Garrido-Bañuelos et al., 2022; Zhai et al., 2023). Estos extractos se emplean en las etapas de la fermentación y clarificación de vinos blancos, rosados y tintos con el objetivo de mejorar sus propiedades sensoriales (estabilización de las proteínas, cristalización de las sales de tartrato, mejora de su sabor y reducción de la astringencia), además de que pueden estimular a las bacterias lácticas durante la fermentación maloláctica (Domizio et al., 2014) y tienen una gran capacidad para la formación y estabilización de la espuma en los vinos espumosos (Canalejo et al., 2021; Wan et al., 2021).

Estas formulaciones pueden satisfacer potencialmente las demandas de salud de los consumidores y reducir a la vez la dependencia con los aditivos artificiales. Debido a su origen natural y sus excelentes cualidades han sido autorizadas por la Organización Internacional del Vino y la Vid y por la Unión Europea como “estabilizadores” del vino durante su vida útil (Zhai et al., 2023), por lo que se pronostica que mantengan o incluso aumenten su valor comercial en un futuro cercano (Wan et al., 2021). Sin embargo, la mayoría de los estudios desarrollados sobre el tema se centran en las MP liberadas por la pared celular (PC) de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* por lo que existen muy pocos trabajos que aborden el estudio y caracterización de estos polisacáridos de gran valor obtenidos de la PC de levaduras no *Saccharomyces* (Oyón-Ardoiz et al., 2022).

Esta revisión se centra en estudiar la influencia que tienen las MP en las propiedades organolépticas de los diferentes tipos de vinos, así como en destacar los últimos avances sobre el uso de preparados comerciales de esta glicoproteína en la industria enológica a partir de diferentes especies de levaduras, todo con el objetivo de comprender aún más todos los mecanismos subyacentes involucrados en este complejo proceso.

METODOLOGÍA

Para realizar esta revisión se desplegó una búsqueda bibliográfica sobre el estado del arte actualizado del tema en cuestión y los últimos avances hasta el momento, durante un período que abarca desde 2003 hasta 2023 y empleando las bases de datos y motores de búsqueda que se mencionan a continuación:

- Scopus <https://www.scopus.com/home.uri>
- Sciencedirect <https://www.sciencedirect.com/>
- Pubmed <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Google Scholar: <https://scholar.google.com/>

Papel de los polisacáridos en el vino

Desde siempre la industria enológica ha empleado el frío como método de estabilización de vinos para evitar entre otras cosas la turbidez y precipitar las sales de tartrato y otras SC inestables, aunque esto provoca que también precipite la materia colorante por su adsorción en los cristales de tartrato (Alcalde-Eon et al., 2014). Aquí entran en juego los polisacáridos del propio vino que actúan como estabilizadores estéricos y considerando esta capacidad

es posible que sean capaces también de actuar como estabilizadores de la materia colorante coloidal (Alcalde-Eon et al., 2014; Diako et al., 2016; Lei et al., 2022). Según (Zhai et al., 2023) el contenido total de polisacáridos en el vino aumenta en gran medida con la maceración y se estabiliza con la crianza en botella luego de al menos dos años de almacenamiento.

La concentración de polisacáridos protectores en el vino es crítica, ya que tanto un contenido insuficiente como cantidades excesivas logran desestabilizar la materia coloidal, lo que puede generar floculación o precipitación. Las bajas concentraciones de polisacáridos provocan el fenómeno de unión cruzada o, por el contrario, una concentración excesiva genera que las partículas se acerquen más entre sí y precipiten, debido a la mayor presión osmótica a la que están sometidas (Patra et al., 2021). Por lo que el logro de una estabilidad óptima en este proceso se ha convertido en una difícil tarea para los enólogos, buscando métodos más específicos que sean capaces de eliminar las partículas inestables antes de realizar el embotellado y a su vez, mantener los indicadores de calidad organoléptica dominantes (Zhai et al., 2023).

Un factor clave durante la inspección a simple vista de la calidad de los vinos es la incapacidad para detectar los cristales submicrómetros, lo que generaba interpretaciones erróneas de los fenómenos subyacentes que pueden estar ocurriendo (Zhai et al., 2023). En su estudio (Lankhorst et al., 2017) demostraron que las MP impiden la cristalización del tartrato al retrasar o detener el crecimiento de los cristales en lugar de prevenir la nucleación como se creía hasta el momento. Estos resultados obligan a reconsiderar el mecanismo de acción que se había aceptado hasta el momento sobre los estabilizantes del vino.

Características generales de las manoproteínas (MP)

Las PC de las levaduras están compuestas de quitina, β -1,3 glucano, β -1,6 glucano y de MP, estas últimas son glicoproteínas que están unidas a los glucanos por enlaces covalentes y no covalentes y se ubican en la capa más externa, representando entre 30-50 % de su masa total; están constituidas por polímeros de manos a unidos a un esqueleto de proteína menor mediante enlaces covalentes (Feuillat, 2003).

Constituyen el segundo polisacárido más abundante en el vino y son liberadas principalmente por las levaduras en la etapa de fermentación alcohólica y durante la crianza de los vinos (Oyón-Ardoiz et al., 2022; Zhai et al., 2023). Estas glicoproteínas son liberadas de la PC de la levadura por la acción de la enzima β -1,3 glucanasa, la cual se activa durante el crecimiento de la levadura en la etapa fermentativa y en el envejecimiento del vino. Esta cantidad de MP liberada depende de varios factores entre los que se encuentran la cepa de levadura empleada y la turbidez del mosto (Feuillat, 2003).

Métodos de extracción de manoproteínas (MP)

Los métodos fundamentales para la extracción de MP a partir de levaduras se resumen en dos categorías: a través de enzimas capaces de destruir las PC o por medio de extracciones físicas. Aunque durante muchos años el género *Saccharomyces* ha sido la principal fuente para la extracción de estos polisacáridos, diversos investigadores han investigado otros métodos no convencionales (Canalejo et al., 2021; Martínez et al., 2016; Oyón-Ardoiz et al., 2022; Snyman et al., 2021; Wan et al., 2021), así como el uso de otros géneros de levaduras no *Saccharomyces* como nuevas fuentes de MP (Božič et al., 2020; de Iseppi et al., 2021; Domizio et al., 2014; Liu et al., 2022; Machová et al., 2015; Oyón-Ardoiz et al., 2022), lo que realza la importancia de desarrollar procesos rentables para extraer MP de una manera efectiva para futuras aplicaciones industriales (Wan et al., 2021).

Autores como Giovanni y Rosi (2007) han empleado cepas mutantes termosensibles autolíticas o cepas manipuladas genéticamente de *S. cerevisiae* (Brown et al., 2007) para expresar en mayor cuantía las MP liberadas durante la etapa fermentativa, aunque su uso no se ha extendido debido a los posibles componentes que estos microorganismos podrían añadir adicionalmente al vino que de otra forma no estarían presentes de forma natural, sin embargo Domizio et al. (2014) han utilizado otros géneros de levaduras no *Saccharomyces* con una gran capacidad de liberación de manoproteínas durante la fermentación y la crianza de los vinos.

Martínez et al. (2016) evaluaron el potencial de la aplicación de campos eléctricos pulsados para inducir autólisis acelerada en cepas de *S. cerevisiae* para uso enológico, lo que aceleraría el envejecimiento del vino durante la etapa de crianza sobre lías (material similar a un lodo que consiste principalmente en células de levadura ricas en manoproteínas), mientras que Maza et al. (2020) emplearon esta tecnología durante la crianza sobre lías de vino tinto (Caladoc) lo que promete ser una técnica prometedora para reducir el tiempo de esta etapa tan crucial en los vinos tintos. Por otro lado Wan et al (2021) demostraron que el método de tratamiento térmico es mucho más eficiente que la separación ácido-base o el tratamiento con dodecilsulfato de sodio y por tanto más factible comercialmente, ya que requiere menor tiempo de operación e induce a menos daño a la estructura funcional de las MP que los otros métodos.

La extracción de manoproteínas de las lías de los vinos para su uso como aditivos enológicos aún es un campo de investigación poco estudiado. Sin embargo, autores como de Iseppi et al. (2021) han desarrollado métodos eficientes (autoclave/ultrasonido y α -glucanasas) para la extracción y reutilización de estos glicocompuestos de

levadura a partir de lías de vino blanco, mientras que Snyman et al. (2021) optimizaron el rendimiento de obtención de MP utilizando *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces boulardii*, *Metschnikowia fructicola* y *Torulaspota delbrueckii* mediante una combinación de técnicas de microscopía de fluorescencia, ultrasonido y tratamientos enzimáticos para, lo que constituye un paso de avance en la extracción y caracterización de estas glicoproteínas en cepas no *Saccharomyces* y su posterior aplicación a gran escala en la industria enológica.

Influencia de las manoproteínas sobre la calidad de los vinos

Las características estructurales de las MP desempeñan un papel clave en el proceso global de vinificación, principalmente en la estabilización de los compuestos fenólicos, las proteínas y las propiedades organolépticas de los vinos (Manjón et al., 2021; Ramos-Pineda et al., 2018, 2022), esto ha sido demostrado por Rinaldi et al. (2021) en sus estudios, estos autores observaron una marcada dependencia entre la formación de sistemas salivales proteína-manoproteína (involucrados en la alteración de las sensaciones de astringencia), los flavonoles y la estructura e hidrofobicidad de estas glicoproteínas. Además, su producción y liberación, tanto en la fermentación como en la crianza sobre lías, depende específicamente de la cepa de levadura utilizada y de sus condiciones nutricionales (Caridi, 2006). En la Tabla 1 se resumen las funciones principales que pueden desempeñar las MP de las levaduras en la industria enológica.

La película de levaduras que se origina durante la fermentación del vino tradicionalmente se ha considerado como un producto de desecho, sin embargo, actualmente esta es reutilizada debido a sus propiedades beneficiosas ya mencionadas anteriormente. Una mayor intensidad de color y tendencia a los tonos rojos fue detectada por Fernández et al. (2011) en su estudio cuando el vino se trató con lías obtenidas por una combinación acidificación/tratamiento enzimático en lugar de las obtenidas únicamente por tratamientos de acidificación.

El efecto de tres MP comerciales sobre la astringencia y el color en dos vinos tintos diferentes (Aglanico y Sangiovese) fue estudiado por Rinaldi et al. (2019) durante un período de doce meses de crianza en botella, resultando en una mejora de estos parámetros de calidad. Por otro lado Oyón-Ardoiz et al. (2022) evaluaron el efecto positivo de extractos ricos en MP provenientes de cepas de *T. delbrueckii* sobre la estabilidad coloidal del pigmento en vinos tintos y el hecho de que estos extractos de levaduras no *Saccharomyces* hayan tenido un mayor efecto sobre este parámetro de calidad los catapulta como un aditivo prometedor en este sentido.

Los efectos secundarios de la adición post-fermentativa de una combinación de semillas y una MP moduladora de la astringencia sobre las composiciones de flavonoles y antocianinas y sobre el color de los vinos elaborados con uvas Syrah fueron evaluados por Alcalde-Eon et al. (2019), esto ya que las semillas aportan flavanoles y mejorar la estabilidad química del vino y la MP actuar como un agente modulador de la astringencia, lo que podría ser una estrategia potencial para resolver de la carencia de compuestos fenólicos en esta variedad de uvas. A pesar de todos los estudios hasta la fecha aún se necesita un mayor número de investigaciones que permitan desentrañar a fondo los mecanismos subyacentes que les confieren estas propiedades tan valoradas en la industria enológica.

Tabla 1. Funciones enológicas de las manoproteínas de las levaduras.

Adsorción de ocratoxina A	Las MP pueden contribuir a la adsorción de la ocratoxina A (peligroso metabolito secundario que puede estar presente en el vino) debido a su capacidad de unión a este tipo de micotoxinas
Combinación con compuestos fenólicos	Son capaces de combinarse con las antocianinas y los taninos presentes en el vino, lo que incrementa la estabilidad del color y disminuye en gran medida la astringencia, dando como resultado vinos con mayor cuerpo, mejor sabor en boca y más resistentes a la oxidación
Mayor crecimiento de bacterias malolácticas	Estimulan el crecimiento de las bacterias malolácticas en el vino, debido a su capacidad de adsorción de los ácidos grasos de cadena corta sintetizados por las propias levaduras, los cuales inhiben el crecimiento bacteriano. Además, las bacterias malolácticas pueden hidrolizar las manoproteínas, lo que eleva el contenido nutricional del medio
Inhibición de la cristalización de la sal de tartrato	Previenen la precipitación de las sales de tartrato reduciendo la temperatura de cristalización, logrando así un mayor control de la estabilidad de los vinos
Interacción con los vinos que presentan "velo de flor"	La técnica del "velo de flor" se utiliza en la crianza de algunos tipos de vino en la que se emplean levaduras específicas (levaduras flor) formadoras de una película blanquecina que se desarrollan espontáneamente en la superficie del vino formando una gruesa capa de células denominada velo. Se ha identificado una manoproteína hidrofóbica de 49kDa en la PC de este tipo de levaduras que está relacionada con la formación del velo y la hidrofobicidad superficial
Prevención de turbidez	La turbidez es un problema común en los vinos blancos y se debe a la lenta desnaturalización y floculación de las proteínas de la uva. La presencia en los vinos de MP reduce la turbidez visible disminuyendo el tamaño de las partículas y se denomina "Factor de protección contra la neblina". Esto explica en gran medida la estabilización proteica que se induce por las lías de los vinos blancos
Refuerzo de componentes aromáticos	Interaccionan con los compuestos aromáticos, lo que genera modificaciones de la volatilidad y la intensidad aromática de los vinos
Enriquecimiento del vino durante la crianza sobre lías finas	El envejecimiento del vino sobre lías de levadura afecta en gran medida la concentración de nutrientes (aminoácidos, péptidos y proteínas) a través de la liberación pasiva o la autólisis de la levadura. Este proceso le aporta cuerpo, aroma y sabor al vino, además de que lo protege contra la oxidación.
Floculación de levaduras y autólisis en vinos espumosos.	Las MP contribuyen a la floculación de las levaduras utilizadas específicamente en la fabricación de algunos tipos de vinos espumosos, lo que facilita su posterior tratamiento.

CONCLUSIONES

Uno de los mayores desafíos en la industria enológica es alcanzar parámetros de calidad óptimos, en este sentido las características estructurales de las MP desempeñan un papel clave, estabilizando los compuestos fenólicos, las proteínas y las propiedades organolépticas de los vinos. Las últimas investigaciones sugieren que los extractos obtenidos de levaduras no *Saccharomyces* pueden tener un mayor efecto sobre la materia colorante del vino lo que abre la posibilidad al uso de este tipo de microorganismos como una fuente prometedora para desarrollar nuevos productos enológicos a base de MP. Además, la implementación de las lías de vino como fuente de compuestos para su uso en la vinificación podría conducir a una mejor explotación de estos subproductos, contribuyendo así a mejorar el enfoque de economía circular y residuo cero dentro de la industria del vino. No obstante, las investigaciones futuras deben centrarse en la caracterización de estos preparados obtenidos por métodos no convencionales con el fin de relacionar sus características estructurales y mecanismos subyacentes con el impacto que tienen en las propiedades organolépticas de los diferentes tipos de vino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalde-Eon, C., Ferreras-Charro, R., Ferrer-Gallego, R., Rivero, F. J., Heredia, F. J., & Escribano-Bailón, M. T. (2019). Monitoring the effects and side-effects on wine colour and flavonoid composition of the combined post-fermentative additions of seeds and mannoproteins. *Food Research International*, 126, 108650. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108650>
- Alcalde-Eon, C., García-Estévez, I., Puente, V., Rivas-Gonzalo, J. C., & Escribano-Bailón, M. T. (2014). Color Stabilization of Red Wines. A Chemical and Colloidal Approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(29), 6984–6994. <https://doi.org/10.1021/jf4055825>
- Apolinar-Valiente, R., Romero-Cascales, I., Williams, P., Gómez-Plaza, E., López-Roca, J. M., Ros-García, J. M., & Doco, T. (2014). Effect of winemaking techniques on polysaccharide composition of Cabernet Sauvignon, Syrah and Monastrell red wines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(1), 62–71. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12048>
- Božič, J. T., Butinar, L., Albrecht, A., Vovk, I., Korte, D., & Vodopivec, B. M. (2020). The impact of *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* yeasts on wine colour: A laboratory study of vinylphenolic pyranoanthocyanin formation and anthocyanin cell wall adsorption. *LWT*, 123, 109072. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109072>
- Brown, S. L., Stockdale, V. J., Pettolino, F., Pocock, K. F., de Barros Lopes, M., Williams, P. J., Bacic, A., Fincher, G. B., Høj, P. B., & Waters, E. J. (2007). Reducing haziness in white wine by overexpression of *Saccharomyces cerevisiae* genes YOL155c and YDR055w. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 73(6), 1363–1376. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0606-0>
- Canalejo, D., Guadalupe, Z., Martínez-Lapuente, L., Ayestarán, B., & Pérez-Magariño, S. (2021). Optimization of a method to extract polysaccharides from white grape pomace by-products. *Food Chemistry*, 365, 130445. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130445>
- Caridi, A. (2006). Enological functions of parietal yeast mannoproteins. *Antonie van Leeuwenhoek*, 89(3), 417–422. <https://doi.org/10.1007/s10482-005-9050-x>
- Chong, H. H., Cleary, M. T., Dokoozlian, N., Ford, C. M., & Fincher, G. B. (2019). Soluble cell wall carbohydrates and their relationship with sensory attributes in Cabernet Sauvignon wine. *Food Chemistry*, 298, 124745. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.05.020>
- de Iseppi, A., Marangon, M., Vincenzi, S., Lomolino, G., Curioni, A., & Divol, B. (2021). A novel approach for the valorization of wine lees as a source of compounds able to modify wine properties. *LWT*, 136, 110274. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110274>
- Diako, C., McMahon, K., Mattinson, S., Evans, M., & Ross, C. (2016). Alcohol, Tannins, and Mannoprotein and their Interactions Influence the Sensory Properties of Selected Commercial Merlot Wines: A Preliminary Study. *Journal of Food Science*, 81(8), S2039–S2048. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13389>
- Domizio, P., Liu, Y., Bisson, L. F., & Barile, D. (2014). Use of non-*Saccharomyces* wine yeasts as novel sources of mannoproteins in wine. *Food Microbiology*, 43, 5–15. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2014.04.005>
- Fernández, O., Martínez, O., Hernández, Z., Guadalupe, Z., & Ayestarán, B. (2011). Effect of the presence of lysated lees on polysaccharides, color and main phenolic compounds of red wine during barrel ageing. *Food Research International*, 44(1), 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.008>
- Feuillat, M. (2003). Yeast macromolecules: origin, composition, and enological interest. *American Journal of Enology and Viticulture*, 54(3), 211–213.

Garrido-Bañuelos, G., Buica, A., & du Toit, W. (2022). Relationship between anthocyanins, proanthocyanidins, and cell wall polysaccharides in grapes and red wines. A current state-of-art review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(28), 7743–7759. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1918056>

Giovani, G., & Rosi, I. (2007). Release of cell wall polysaccharides from *Saccharomyces cerevisiae* thermosensitive autolytic mutants during alcoholic fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 116(1), 19–24. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2006.11.008>

Lankhorst, P. P., Voogt, B., Tuinier, R., Lefol, B., Pellerin, P., & Virone, C. (2017). Prevention of Tartrate Crystallization in Wine by Hydrocolloids: The Mechanism Studied by Dynamic Light Scattering. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(40), 8923–8929. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01854>

Lei, X., Wang, S., Zhao, P., & Wang, X. (2022). Mannoproteins, arabinogalactan protein, rhamnogalacturonan II and their pairwise combinations regulating wine astringency induced by the interaction of proanthocyanidins and proteins. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.180>

Liu, S., Laaksonen, O., Li, P., Gu, Q., & Yang, B. (2022). Use of Non- *Saccharomyces* Yeasts in Berry Wine Production: Inspiration from Their Applications in Winemaking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(3), 736–750. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07302>

Machová, E., Fiačanová, L., Čížová, A., & Korcová, J. (2015). Mannoproteins from yeast and hyphal form of *Candida albicans* considerably differ in mannan and protein content. *Carbohydrate Research*, 408, 12–17. <https://doi.org/10.1016/J.CARRES.2015.03.001>

Manjón, E., Recio-Torrado, A., Ramos-Pineda, A. M., García-Estévez, I., & Escribano-Bailón, M. T. (2021). Effect of different yeast mannoproteins on the interaction between wine flavanols and salivary proteins. *Food Research International*, 143, 110279. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110279>

Martínez, J. M., Cebrián, G., Álvarez, I., & Raso, J. (2016). Release of Mannoproteins during *Saccharomyces cerevisiae* Autolysis Induced by Pulsed Electric Field. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01435>

Maza, M. A., Delso, C., Álvarez, I., Raso, J., & Martínez, J. M. (2020). Effect of pulsed electric fields on mannoproteins release from *Saccharomyces cerevisiae* during the aging on lees of Caladoc red wine. *LWT*, 118, 108788. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108788>

Mekoue Nguela, J., Teuf, O., Assuncao Bicca, S., & Vernhet, A. (2023). Impact of mannoprotein N-glycosyl phosphorylation and branching on the sorption of wine polyphenols by yeasts and yeast cell walls. *Food Chemistry*, 403, 134326. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.134326>

Oyón-Ardoiz, M., Manjón, E., Escribano-Bailón, M. T., & García-Estévez, I. (2022). Effect of mannoproteins from different oenological yeast on pigment composition and color stability of red wine. *LWT*, 172, 114219. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.114219>

Patra, T., Rinnan, Å., & Olsen, K. (2021). The physical stability of plant-based drinks and the analysis methods thereof. *Food Hydrocolloids*, 118, 106770. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106770>

Ramos-Pineda, A. M., García-Estévez, I., Dueñas, M., & Escribano-Bailón, M. T. (2018). Effect of the addition of mannoproteins on the interaction between wine flavonols and salivary proteins. *Food Chemistry*, 264, 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.119>

Ramos-Pineda, A. M., Manjón, E., Macías, R. I. R., García-Estévez, I., & Escribano-Bailón, M. T. (2022). Role of Yeast Mannoproteins in the Interaction between Salivary Proteins and Flavan-3-ols in a Cell-Based Model of the Oral Epithelium. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(41), 13027–13035. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c08339>

Rinaldi, A., Coppola, M., & Moio, L. (2019). Aging of Aglianico and Sangiovese wine on mannoproteins: Effect on astringency and colour. *LWT*, 105, 233–241. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.02.034>

Rinaldi, A., Gonzalez, A., Moio, L., & Gambuti, A. (2021). Commercial Mannoproteins Improve the Mouthfeel and Colour of Wines Obtained by Excessive Tannin Extraction. *Molecules*, 26(14), 4133. <https://doi.org/10.3390/molecules26144133>

Snyman, C., Mekoue Nguela, J., Siczkowski, N., Marangon, M., & Divol, B. (2021). Optimised Extraction and Preliminary Characterisation of Mannoproteins from Non-*Saccharomyces* Wine Yeasts. *Foods*, 10(5), 924. <https://doi.org/10.3390/foods10050924>

Sun, X., Yan, Z., Zhu, T., Zhu, J., Wang, Y., Li, B., & Meng, X. (2019). Effects on the color, taste, and anthocyanins stability of blueberry wine by different contents of mannoprotein. *Food Chemistry*, 279, 63–69. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.11.139>

Wan, M., Wang, M., Zhao, Y., Deng, H., Tan, C., Lin, S., Kong, Y., Tong, Y., & Meng, X. (2021). Extraction of mannoprotein from *Saccharomyces cerevisiae* and analysis of its chemical composition and molecular structure. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193, 2252–2259. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.11.057>

Zhai, H. Y., Li, S. Y., Zhao, X., Lan, Y. bin, Zhang, X. K., Shi, Y., & Duan, C. Q. (2023). The compositional characteristics, influencing factors, effects on wine quality and relevant analytical methods of wine polysaccharides: A review. *Food Chemistry*, 403, 134467. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.134467>

Este artículo no presenta conflicto de intereses